

POTENCIAL FOTOVOLTAICO GLOBAL DE LA PROVINCIA DE SALTA. UN INDICADOR MULTICRITERIO PARA LA DEFINICIÓN DE ÁREAS DE ACCIÓN PRIORITARIA DEL SECTOR RESIDENCIAL

I. Cruz^{1,2}, J. Sauad^{2,3}, R. Durán¹ y M. Condorí¹

Instituto de Investigaciones de Energías No Convencionales (INENCO)¹

Universidad Nacional de Salta²

Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED)³

Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina Tel. 0387-4255325 e-mail:
icruz.unsa@gmail.com

Recibido 19/08/19, aceptado 23/10/19

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de un indicador multicriterio adimensional denominado Potencial Fotovoltaico Global, para la definición de áreas de acción prioritaria. El indicador se conformó a partir de la integración de un pool de indicadores de sustentabilidad, utilizando un enfoque de ponderación basada en comprensión de datos. El Potencial Fotovoltaico Global fue mapeado para toda la Provincia de Salta, con un nivel de detalle de radio censal. Se obtuvo un indicador con una consistencia interna satisfactoria ($\alpha = 0.77$). Las regiones de Puna y Prepuna son áreas de acción prioritaria (0.81-1). La región de Yungas posee valores mínimos (0.01-0.75). La Provincia de Salta cuenta con un elevado Potencial Fotovoltaico Global. La variabilidad espacial del indicador depende principalmente del potencial técnico fotovoltaico.

Palabras claves: potencial fotovoltaico, sustitución energética, sustentabilidad, evaluación multicriterio

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha potenciado el desarrollo residencial y la expansión del entorno construido, generando cambios en el uso del suelo e impactos ambientales locales negativos. El sector residencial representa un tercio de la demanda de energética mundial y genera emisiones de CO₂eq con impactos sobre el cambio climático (Amado et al., 2018; International Energy Agency, 2016). Revertir el escenario actual, plantea la necesidad de un cambio de paradigma en la planificación energética y en el modelo energético de producción y consumo de energía. En este marco las Energías Renovables tienen potencial para contribuir a avanzar en el camino hacia sociedades sustentables (Foley y Olabi, 2017). Entre los principales beneficios de la implementación de tecnologías de aprovechamiento de las Energías Renovables se encuentran: i) mejora de la sustentabilidad del medio ambiente (Chapman et al., 2017), ii) mejora en la salud pública (Shih y Tseng, 2014), iii) creación de empleo (Dvořák et al., 2017), y iv) beneficios financieros (Krupa y Harvey, 2017).

La incorporación de sistemas fotovoltaicos (FV) en el sector residencial, está siendo promovida a nivel global en el marco del paradigma de la sustentabilidad (Pandey et al., 2017). La implementación de sistemas FV constituye un instrumento estratégico con potencial para mitigar el impacto ambiental del modelo energético actual y reducir la inequidad social (Cruz, 2018). Para abordar la complejidad de las estrategias de fomento a la implementación de sistemas FV en el sector residencial, los tomadores de decisiones deben contar con herramientas que permitan: i) cuantificar el potencial regional fotovoltaico, ii) evaluar la viabilidad financiera y económica de los sistemas, iii) evaluar el impacto de la implementación de sistemas FV incorporando el componente social, y iv) identificar áreas de acción prioritaria que maximicen los impactos positivos de la sustitución energética (Calvillo et al., 2016; Caragliu y Del Bo, 2019). Para reducir el riesgo en la toma de decisiones, en el proceso de

transición hacia sociedades sustentables, la planificación energética inicio abordan las complejidades enunciadas mediante el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que integren indicadores de sustentabilidad mediante evaluación multicriterio (Bottaccioli et al., 2017).

Para Argentina el desarrollo de las Energías Renovables es una política de estado, que se refleja en el Plan de energías renovables Argentina 2016 - 2025 y en la Ley 27.191 de Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía. La provincia de Salta cuenta con un Plan Provincial de energías renovables (2014) y es pionera en la promulgación de una ley de implementación de generación distribuida (Ley N° 7824 de Balance Neto), con vistas a la transición hacia un modelo energético sustentable. En este contexto, se señala la necesidad de la generación de sistemas de soporte a las decisiones, que permitan abordar la complejidad ya enunciada, en base al viraje de paradigma que plantea la planificación energética. En este marco el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un indicador multicriterio para la identificación de áreas de acción prioritaria para la implementación de energía solar FV en el sector residencial de la Provincia de Salta.

METODOLOGÍA

El indicador multicriterio adimensional denominado Potencial Fotovoltaico Global se desarrolló a partir de la integración de un pool de indicadores que abordan las siguientes dimensiones de la sustentabilidad: ambiente, economía y sociedad. El Potencial Fotovoltaico Global fue mapeado para toda la Provincia de Salta, con un nivel de detalle de radio censal. Para la estimación del Potencial Fotovoltaico Global a nivel de departamento, se efectuó un promedio de los valores que adquiere el indicador en los r radios censales pertenecientes al departamento h de la Provincia de Salta. Una descripción de los indicadores para cada dimensión de la sustentabilidad, se presenta a continuación.

Indicadores de la dimensión Ambiente

La dimensión Ambiente incluye dos indicadores: el Potencial Técnico de implementación de energía solar fotovoltaica y la emergencia producida por la generación fotovoltaica.

El Potencial Técnico de implementación de energía solar fotovoltaica es la cantidad de potencial geográfico que puede convertirse en energía eléctrica utilizando un sistema FV. El potencial geográfico es la cantidad de radiación solar global anual que recibe una región. El Potencial Técnico Fotovoltaico es una función del potencial geográfico (Hoogwijk, 2004) y un indicador de la máxima capacidad que posee el Sistema Socio Ecológico para para sostener el uso final evaluado, dadas las características técnicas del sistema tecnológico.

El potencial geográfico fue estimado utilizando la base de datos de radiación solar global anual sobre el plano horizontal del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos (NREL). La base de datos de NREL es una matriz de puntos con coordenadas geográficas, que contiene datos de radiación solar global anual. La base de datos fue importada al software de geoprocésamiento ArcGis, para generar una capa vectorial de puntos georeferenciados. Posteriormente, un modelo de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) fue aplicado a la capa vectorial correspondiente a la Provincia de Salta. IDW determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. Como resultado se obtuvo un mapa del potencial geográfico de la Provincia de Salta, en formato raster con una resolución espacial de 40x40 km. El mapa de potencial geográfico fue vinculado con el mapa de radios censales de la Provincia de Salta (INDEC, 2016) mediante un join espacial. El Potencial Técnico fue estimado en base al mapa del potencial geográfico según el modelo desarrollado por Sun et al., (2013), considerando un sistema de generación tipo de 1Kwp.

La emergencia es un indicador que evalúa el impacto ambiental local de la generación fotovoltaica, se define como la cantidad de energía que fue utilizada directa o indirectamente para generar un producto o servicio (Odum, 1996). La emergencia se expresada en equivalentes de energía solar (Em joule- SeJ). Para este caso la emergencia contabiliza la energía que ha sido implicada de forma directa e indirecta para alcanzar el Potencial Técnico Fotovoltaico. El indicador se estimó siguiendo la metodología de

Síntesis Emergética de Odum (1988). En el software ArcGis 10.3 se aplicaron herramientas de geoprocetamiento, para transformar el mapa de Potencial Técnico Fotovoltaico en energía.

Las formulas empleadas para el cálculo de los indicadores de la dimensión Ambiente se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de la sub dimensión ambiente

INDICADOR	CODIFICACION	EXPRESION ALGEBRAICA
Potencial fotovoltaico técnico	$POPV_r$	$POPV_r = \frac{P_i * G_r * n_i}{1000}$ <p> $POPV_r$ = Potencial Fotovoltaico Técnico del radio censal r. P_i = Potencia máxima del sistema fotovoltaico instalado. G_r = Cantidad total anual de radiación global en el plano horizontal para del departamento o radio censal r. n_i = Relación de rendimiento del sistema fotovoltaico. Se adoptó el valor típico de 0.75 para sistema fotovoltaico con módulos mono o policristalino. </p>
Energía generada	$EMEG_r$	$EMEG_r \left(\frac{SeGj}{año} \right) = POPV_r * \theta$ <p> $EMEG_r$ = Energía generada en el radio censal r θ = Factor de Transformicidad (SeGj/Gj). Fuente: Paoli et al. (2008). </p>

Indicadores de la dimensión Economía

En la dimensión Economía se incluyeron los siguientes indicadores: Valor Actualizado Neto (VAN) y Costo Evitado por reducción de CO₂eq (Tabla 2).

El VAN es un indicador de rentabilidad financiera del proyecto de inversión de implementación de energía solar fotovoltaica. Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. El VAN es la suma de dinero equivalente a los ingresos netos presentes y futuros de la generación fotovoltaica para el sistema tecnológico de referencia, empleado en la estimación del potencial técnico. El indicador es una medida del potencial financiero de la generación fotovoltaica.

El costo de inversión corresponde a la cotización del sistema de generación fotovoltaica de referencia en el mercado de proveedores regionales. Los costos operativos se estimaron como función porcentual del costo de inversión. Se computó como ingreso el ahorro económico generado por la sustitución de energía convencional por energía solar fotovoltaica. El ahorro económico es una función del Potencial Técnico Fotovoltaico y la tarifa vigente para generación eléctrica de la ley de balance neto de la Provincia de Salta (Resolución ENRESP 1512/17). El horizonte de evaluación del proyecto es equivalente a la vida útil de sistema tecnológico de referencia. Se utilizó como tasa de descuento una tasa efectiva anual del 10%.

El Costo Evitado por reducción de emisiones CO₂eq, constituye la valoración económica del impacto de liberación del recurso atmosfera como fuente sumidero de CO₂eq, por la sustitución de fuentes convencionales por energía solar fotovoltaica. En este estudio, dicho impacto se estimó mediante la valoración a precio de mercado de las emisiones evitadas de CO₂e, considerando un nivel de producción de energía equivalente con fuentes térmicas al del potencial técnico fotovoltaico.

Tabla 2. Indicadores de la sub dimensión economía.

INDICADOR	CODIFICACION	EXPRESION ALGEBRAICA
Valor actualizado neto	VAN_r	$VAN_r = -CI + \sum_{i=1}^n \frac{(POPV_r * \theta) - (CI * \epsilon)}{[(1 + r)^n]}$ <p> VAN_r = Valor actualizado neto del radio censal r. $POPV$ = Potencial técnico fotovoltaico del radio censal r. CI = Costo de inversión del sistema de generación fotovoltaico de referencia. θ = Tarifa energética de generación fotovoltaica Resolución ENRESP 1512/17. ϵ = Coeficiente de proporcionalidad de costos operativos. r = Tasa de interés de oportunidad, en este caso equivalente al 10%. n = Horizonte de proyecto. </p>
Costo evitado de emisiones de CO _{2e}	$COVE_r$	$COVE_{rj} = \sum_j = (POPV_r * \sigma_j) * \gamma$ <p> $COVE_{rj}$ = Costo evitado por emisiones de CO_{2e} del departamento o radio censal r. $POPV$ = Potencial técnico fotovoltaico del radio censal r. σ_j = Factor de emisión de la fuente energética j (Tn CO_{2eq}/Kwh). Fuente: Ministerio de Energía y Minería, (2016). γ = Cotización de bonos de carbono en el mercado internacional (\$/Tn CO_{2e}). </p>

Indicadores de la dimensión Sociedad

La dimensión sociedad se abordó mediante el indicador GDI, desarrollado por Durán y Condorí (2016). GDI es una métrica de la privación mapeado a nivel de radio censal. El índice comprende las siguientes dimensiones: Hogar, Educación, Empleo, Propiedad y aspectos sociales. El Hogar comprende las variables de Porcentaje de viviendas con Calidad Constructiva Insuficiente (CCI), el Porcentaje de viviendas con Calidad de Conexión a Servicios Básicos Insuficientes (CSBI) y Hacinamiento. En la dimensión educación considera la tasa de analfabetismo. Mientras que en la dimensión empleo analiza el porcentaje de Porcentaje de personas mayores de 14 años sin empleo. La propiedad se compone del porcentaje de casos en los que tanto la vivienda como el terreno sobre el que esta edificada pertenece a algunos de los integrantes del hogar. La dimensión social comprende el porcentaje de hogares mono parentales y porcentaje de personas que viven solas. Los valores de ponderación de GDI son el resultado de la aplicación del análisis de factores principales.

Normalización de variables y análisis de fiabilidad

Los indicadores fueron normalizados para unificar la escala de análisis en rango de valores de 0-1. Se aplicó un enfoque de maximización de impactos positivos para re escalar los indicadores. Valores de 1 reflejan situaciones de optimización de la variable. En la Tabla 3 se detallan las técnicas y expresiones algebraicas utilizadas en el proceso de normalización.

Tabla 3. Expresiones algebraicas empleadas en el proceso de normalización de variables.

INDICADOR	CODIFICACION	TECNICA DE NORMALIZACION	EXPRESION ALGEBRAICA DE NORMALIZACIÓN
Potencial técnico fotovoltaico	$POPV_r$	Normalización por el máximo	$nPOPV_r$ $nPOPV_r$ = Potencial técnico fotovoltaico normalizado del radio censal r. $POPV_r$ = Potencial técnico fotovoltaico del radio censal r. $max POPV_r$ = Máximo potencial técnico fotovoltaico de los radios censales r de la Provincia de Salta.
Energía	$EMEG_r$	Normalización por el máximo	$nEMEG_r = \frac{EMEG_r}{max EMEG_r}$ $nEMEG_r$ = Energía normalizada del radio censal r $EMEG_r$ = Energía del radio censal r. $max EMEG_r$ = Máxima energía de los radios censales r de la Provincia de Salta.
Valor actualizado neto	VAN_r	Normalización por el máximo	$nVAN_r = \frac{VAN_r}{max VAN_r}$ $nVAN_r$ = Valor actualizado neto normalizado del radio censal r. VAN_r = Valor actualizado neto del radio censal r. $max VAN_r$ = Máximo VAN de los radios censales r de la Provincia de Salta.
Costo evitado de emisiones de CO _{2e}	$COVE_r$	Normalización por el máximo	$nCOVE_{rj} = \frac{COVE_{rj}}{max COVE_{rj}}$ $nCOVE_{rj}$ = Costo evitado de emisiones de CO _{2e} anual normalizado del radio censal r para la fuente energética j. $COVE_{rj}$ = Costo evitado de emisiones de CO _{2e} anual del radio censal r para la fuente energética j. $max COVE_{rj}$ = Costo evitado de emisiones de CO _{2e} anual máximo de los radios censales r de la Provincia de Salta para la fuente energética j.
Índice general de privación	GDI_r	Normalización por el máximo	$nGDI_r = \frac{GDI_r}{max GDI_r}$ $nGDI_r$ = Índice general de privación normalizado del radio censal r. GDI_r = Índice general de privación del radio censal r. $max GDI_r$ = Máximo índice general de privación de los radios censales r de la Provincia de Salta.

La consistencia interna de los indicadores normalizados se evaluó mediante el estadístico alfa de Cronbach. El análisis de fiabilidad basado en alfa de Cronbach asume que los ítems que miden un mismo constructo están altamente correlacionados. Si el valor de alfa de Cronbach es próximo a 1 la consistencia interna de los ítems analizados es alta (Campo Arias y Oviedo, 2008).

Conformación del indicador de Potencial Fotovoltaico Global

Para la obtención de valores de ponderación del indicador multicriterio de potencial fotovoltaico global, se optó por un enfoque de ponderación basada en comprensión de datos (Decancq y Lugo, 2013). En este estudio los valores de ponderación se generaron en base a un análisis de componentes principales con rotación ortogonal VARIMAX. El indicador de Potencial Fotovoltaico Global se conformó a partir del score de los i factores obtenidos para cada radio censal de la Provincia de Salta. Las ecuaciones empleadas pueden consultarse en Langlois y Kitchen (2001) y Durán y Condorí (2016).

RESULTADOS

El Potencial Fotovoltaico Global tiene una consistencia interna satisfactoria ($\alpha = 0.77$). El indicador posee una escala con un rango de variación de 0-1. Valores cercanos a 1 indican áreas prioritarias de acción en las que se maximizan los impactos positivos de la sustitución energética.

El Potencial Fotovoltaico Global es máximo en las regiones de Puna y Prepuna y mínimo en la región de Valles Templados y Yungas. En la

Tabla 4 se presentan los valores promedio del indicador, discriminados por tipo de radio censal.

Tabla 4. Potencial Fotovoltaico Global por tipo de radio censal

Tipo de radio	PGPV				
	Media	Desviación típica	Máximo	Mínimo	Recuento
Mixto	0.18	0.06	0.30	0.03	150.00
Rural	0.34	0.18	1.00	0.07	415.00
Urbano	0.18	0.08	0.90	0.00	793.00

Un ranking de departamentos de acción prioritaria se presenta en la Tabla 5. Los departamentos de acción prioritaria para implementación de energía solar fotovoltaica son: Los Andes, La Poma, Molinos, San Carlos y Cafayate. Los departamentos de Capital, Orán y General José de San Martín presentan valores mínimos de Potencial Fotovoltaico Global. Los departamentos con máximo Potencial Fotovoltaico Global presentan densidad poblacional baja, mientras que los departamentos con valores mínimos son centros urbanos con densidad poblacional alta.

El comportamiento geoespacial del Potencial Fotovoltaico Global para la Provincia de Salta, con un nivel de detalle de radio censal, se presenta en la Figura 1. En el mapa es posible observar que la región de Puna y Prepuna de la Provincia de Salta posee los máximos valores de Potencial Fotovoltaico Global (0.81-1). La región de valles templados posee valores intermedios (0.76-0.77). La región de Chaco adquiere valores medios altos comprendidos entre 0.77 y 0.79. El indicador adquiere valores mínimos en la Región de Yungas (0.01-0.75), donde se presenta el menor potencial técnico.

Tabla 5. Ranking de departamentos de acción prioritaria, definido en base al valor medio del potencial fotovoltaico global.

Departamento	PGPV					
	Media	Recuento	Desviación típica	Máximo	Mediana	Mínimo
Los Andes	0.82	17.00	0.09	1.00	0.83	0.70
La Poma	0.74	10.00	0.10	0.99	0.72	0.62
Molinos	0.67	10.00	0.11	0.81	0.63	0.52
San Carlos	0.66	17.00	0.08	0.78	0.67	0.43
Cafayate	0.51	18.00	0.05	0.58	0.53	0.39
Cachi	0.51	11.00	0.16	0.70	0.54	0.26
Santa Victoria	0.49	21.00	0.09	0.63	0.47	0.35
La Candelaria	0.35	14.00	0.07	0.46	0.35	0.26
Iruya	0.30	30.00	0.10	0.47	0.34	0.16
Rivadavia	0.30	44.00	0.03	0.39	0.30	0.18
Rosario de Lerma	0.29	51.00	0.15	0.90	0.26	0.15
Guachipas	0.29	14.00	0.10	0.46	0.27	0.09
Rosario de la Fronte	0.27	54.00	0.05	0.38	0.26	0.17
La Caldera	0.26	18.00	0.03	0.32	0.27	0.18
La Viña	0.26	15.00	0.08	0.36	0.22	0.14
Anta	0.25	102.00	0.04	0.30	0.26	0.14
Metán	0.20	51.00	0.04	0.31	0.18	0.13
General Guemes	0.19	55.00	0.04	0.29	0.18	0.11
Cerrillos	0.19	36.00	0.04	0.27	0.18	0.14
Chicoana	0.18	21.00	0.02	0.21	0.18	0.15
Capital	0.16	460.00	0.02	0.28	0.17	0.08
Orán	0.16	128.00	0.05	0.47	0.14	0.08
General José de San Martín	0.12	161.00	0.03	0.32	0.12	0.00

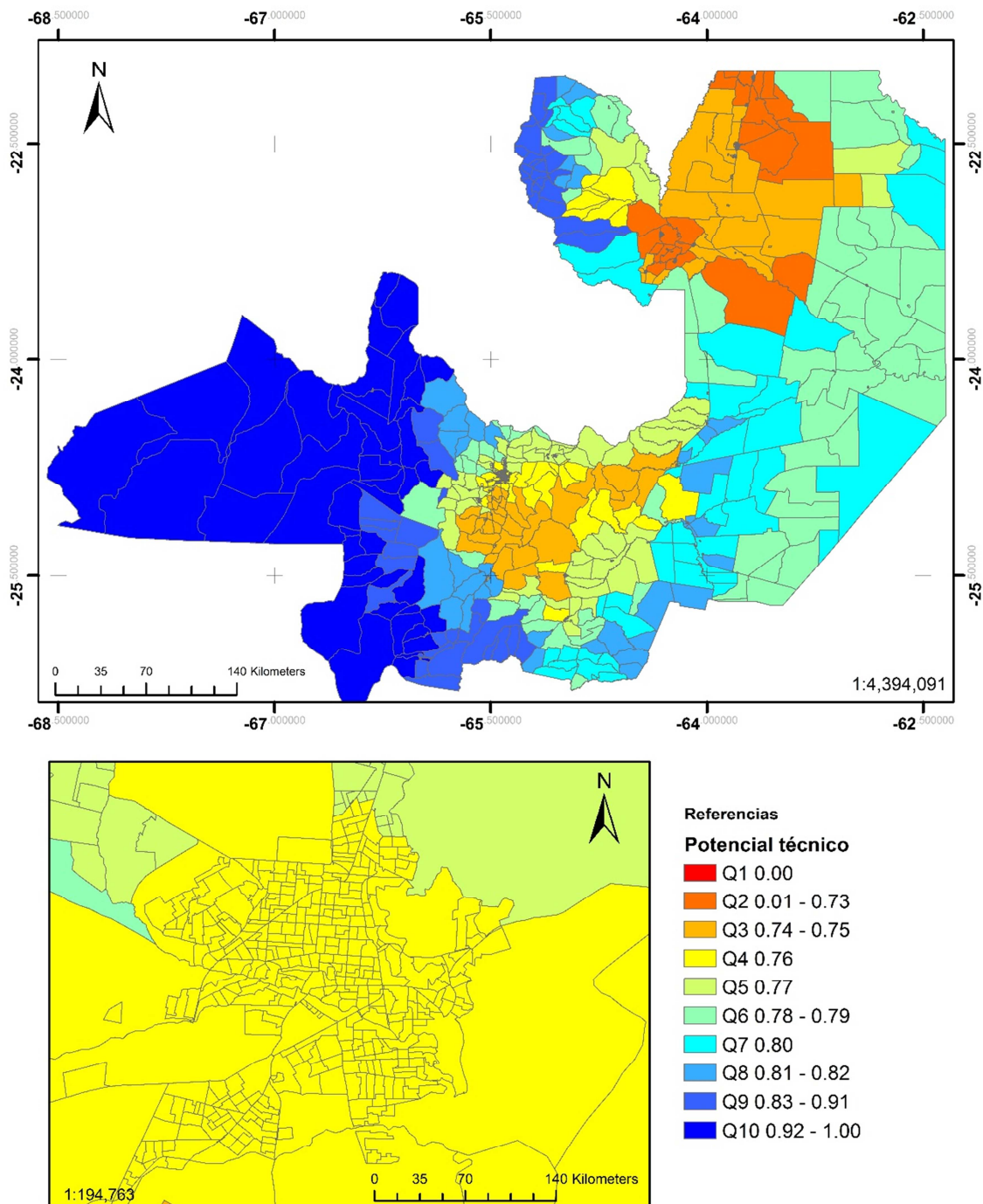


Figura 1. Mapa del potencial fotovoltaico global de la Provincia de Salta, nivel de detalle de radio censal.

CONCLUSIÓN

Se desarrolló un indicador multicriterio de Potencial Fotovoltaico Global para identificar áreas de acción prioritaria para la implementación de energía solar fotovoltaica en el sector residencial de la Provincia de Salta, utilizando un enfoque territorial mediante el uso de SIG. El producto obtenido es un sistema de soporte a las decisiones, que permite definir áreas prioritarias de acción a nivel regional, departamento y radio censal. El enfoque de maximización de impactos positivos permite mejorar la eficacia y eficiencia de futuras políticas públicas de intervención en el territorio.

El análisis de consistencia interna de las variables normalizadas evidencia que el indicador desarrollado es confiable para la toma de decisiones. La metodología de ponderación aplicada demuestra que es posible conformar un indicador multicriterio sensible y objetivo, basado en el comportamiento de la matriz de datos.

La Provincia de Salta cuenta con un elevado Potencial Fotovoltaico Global. La variabilidad espacial del indicador depende principalmente del potencial técnico fotovoltaico. Áreas con máximos valores de potencial técnico fotovoltaico maximizan el potencial económico financiero. El Potencial Fotovoltaico Global puede incrementarse con mejoras en la eficiencia de los sistemas de generación fotovoltaica y reducción de los costos de inversión. La evolución del impacto económico depende de la cotización de los bonos de carbono en el mercado internacional.

A futuro, un programa de subsidio a la inversión de sistemas fotovoltaicos, podría resultar adecuado para fomentar la transición energética dadas las características socio económicas de la población de la Provincia de Salta. Los valores máximos de Potencial Global Fotovoltaico se corresponden con áreas de alta vulnerabilidad social y baja densidad poblacional. Un programa de subsidio a la inversión focalizado en estas regiones, podría coadyuvar a reducir la inequidad socio económica de la Provincia. Mientras que un programa focalizado en áreas urbanas, con menor Potencial Fotovoltaico Global pero elevada densidad poblacional, podría tener un impacto económico global relevante.

REFERENCIAS

- Amado, M., Poggi, F., Ribeiro Amado, A. y Breu, S. (2018). E-City Web Platform: A Tool for Energy Efficiency at Urban Level. *Energies*, 11(7), 1857.
- Bottaccioli, L., Macii, E., Patti, E., Estebsari, A., Pons, E. y Acquaviva, A. (2017). PVInGrid: A Distributed Infrastructure for Evaluating the Integration of Photovoltaic Systems in Smart Grid.
- Calvillo, C. F., Sánchez-Miralles, A. y Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 273–287.
- Campo-Arias A y Oviedo H. Propiedades Psicométricas de una Escala: la Consistencia Interna. *Revista de salud pública*, 10 (5), 831-839.
- Caragliu, A. y Del Bo C. F. (2019). Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 373–383.
- Chapman, A. J., Tezuka, T. y McLellan, B. (2017). Renewable Energy Policy Efficacy and Sustainability: The Role of Equity in Improving Energy Policy Outcomes.
- Cruz I. (2018). Implementación sustentable de energía solar en la provincia de Salta. Herramientas de planificación estratégica. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Decancq, K. y Lugo, M. A. (2013). Weights in multidimensional indices of wellbeing: An overview. *Econometric Reviews*, 32(1), 7-34.
- Durán, R. J. y Condorí, M. Á. (2019). Deprivation Index for Small Areas Based on Census Data in Argentina. *Social Indicators Research*, 141(1), 331-363.
- Dvořák, P., Martinát, S., der Horst, D. Van, Frantál, B. y Turečková, K. (2017). Renewable energy investment and job creation; a cross-sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 360–368.
- Ente Regulador de los Servicios Públicos. (2017). Resolución ENRESP 1512/17.
- Foley, A. y Olabi, A. G. (2017). Renewable energy technology developments, trends and policy implications that can underpin the drive for global climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1112–1114.
- Hoogwijk, M., 2004. On the global and regional potential of renewable energy sources. Utrecht University.
- INDEC. (2016). Base datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, procesado con Redatam+SP. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- International Energy Agency. (2016). Energy Technology Perspectives 2016 Towards Sustainable Urban Energy Systems. Retrieved from www.iea.org/tyc/
- Krupa, J. y Harvey, D. (2017). Renewable electricity finance in the United States: A state-of-the-art review. *Energy*.

- Langlois, A. y Kitchen, P. (2001). Identifying and measuring dimensions of urban deprivation in Montreal: An analysis of the 1996 census data. *Urban Studies*, 38(1), 119–139.
- Ley N° 27.427 Régimen de fomento a la generación distribuida con energías renovables.
- Ley N° 27.191 Régimen de Fomento para las Energías Renovables. Promulgada en 2014.
- Ley N° 7824 Balance Neto. Generadores Residenciales, Industriales y/o Productivos. Promulgada en 2014.
- Ministerio de Energía y Minería, 2015. Plan de energías renovables Argentina 2016 – 2025
- Ministerio de Energía y Minería. (2016). Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Buenos Aires, Argentina.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2017). Data base of Programme of Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).
- Odum, H. (1996). *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*. New York, USA: John Wiley & sons.
- Odum, H. T. (1988). *Emergy, environment and public policy. A guide to the analysis of systems*. Nairobi, Kenya: UNEP.
- Pandey, A. K., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., Pant, P. C. y Tyagi, V. V. (2017). Solar Photovoltaics (PV): A Sustainable Solution to Solve Energy Crisis. In *Green Technologies and Environmental Sustainability* (pp. 157–178).
- Paoli, C., Vassallo, P. y Fabiano, M. (2008). Solar power: An approach to transformity evaluation. *Ecological Engineering*, 34(3), 191-206.
- Secretaría de Energía de Salta. Argentina. 2014. Plan Provincial de Energías Renovables.
- Shih, Y. H. y Tseng, C. H. (2014). Cost-benefit analysis of sustainable energy development using life-cycle co-benefits assessment and the system dynamics approach. *Applied Energy*, 119, 57–66.
- Sun, Y. W., Hof, A., Wang, R., Liu, J., Lin, Y. J. y Yang, D. W. (2013). GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale: A case study of Fujian Province. *Energy Policy*, 58, 248-259.

ABSTRACT

A Global Photovoltaic Potential is presented for the definition of priority action areas in Salta Province. The multicriteria indicator was formed based on the integration of a pool of sustainability indicators, using a weighting approach based on data understanding. The Global Photovoltaic Potential was mapped for the entire Province of Salta, with a census radius level of detail. An indicator with a satisfactory internal consistency was obtained ($\alpha = 0.77$). The Puna and Prepuna regions are priority action areas (0.81-1). The Yungas region has minimum values (0.01-0.75). The Province of Salta has a high Global Photovoltaic Potential. The spatial variability of the indicator depends mainly on the photovoltaic technical potential.

Keywords: Photovoltaic Potential, Energy Substitution, Sustainability, Multicriteria Evaluation